

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-083996

(43)Date of publication of application : 22.03.2002

(51)Int.Cl.

H01L 31/10
H01L 27/14

(21)Application number : 2000-288256

(71)Applicant : NICHIA CHEM IND LTD

(22)Date of filing : 22.09.2000

(72)Inventor : YAMADA MOTOKAZU

(30)Priority

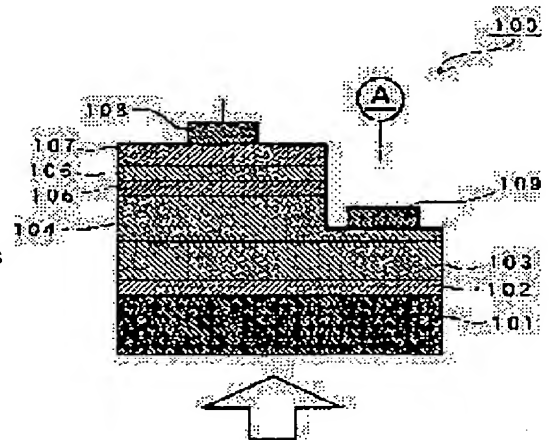
Priority number : 2000187072 Priority date : 22.06.2000 Priority country : JP

(54) GALLIUM NITRIDE BASED COMPOUND SEMICONDUCTOR LIGHT RECEIVING ELEMENT AND LIGHT RECEIVING ARRAY USING THE SAME

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a light receiving element which selectively has a high sensitivity in a specific wavelength range in a area ranging from ultraviolet to visible range.

SOLUTION: This element is provided with a double-hetero structure in which a light receiving layer made of i-type gallium nitride based compound semiconductor is formed between an n-type layer and a p-type layer which are respectively made of gallium nitride based compound semiconductor, and the light receiving layer is made of undoped $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 1$) and the n-type layer is made of GaN.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-83996

(P2002-83996A)

(43) 公開日 平成14年3月22日 (2002.3.22)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テーマト* (参考)

H 0 1 L 31/10

H 0 1 L 31/10

A 4 M 1 1 8

27/14

27/14

K 5 F 0 4 9

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2000-288256(P2000-288256)

(22) 出願日 平成12年9月22日 (2000.9.22)

(31) 優先権主張番号 特願2000-187072(P2000-187072)

(32) 優先日 平成12年6月22日 (2000.6.22)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000226057

日亜化学工業株式会社

徳島県阿南市上中町岡491番地100

(72) 発明者 山田 元量

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

(74) 代理人 100074354

弁理士 豊栖 康弘 (外1名)

Fターム(参考) 4M118 AA01 AB01 BA06 CA05 CB01

CB14 EA01 GA02 GA10

5F049 MA04 MB03 MB07 NA05 NA10

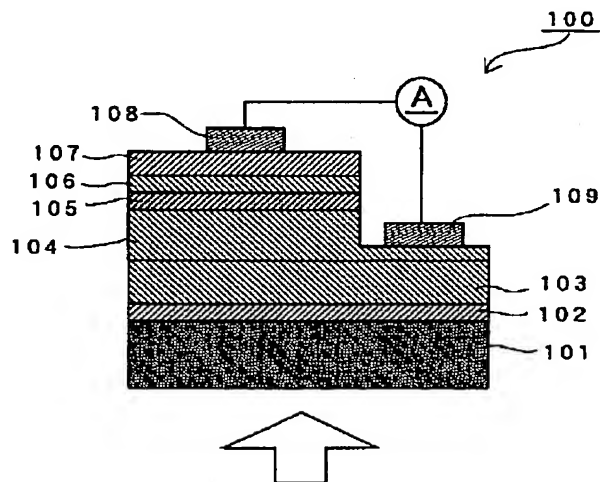
QA02 RA02 SS01 WA05

(54) 【発明の名称】 窒化ガリウム系化合物半導体受光素子及びそれを用いた受光アレイ

(57) 【要約】

【課題】 紫外から可視領域までの領域で特定の波長範囲において選択的に高い感度を有しかつ信頼性に優れた受光素子を提供する。

【解決手段】 それぞれ窒化ガリウム系化合物半導体からなるn型層とp型層との間に、i型窒化ガリウム系化合物半導体からなる受光層を備えたダブルヘテロ構造を有し、受光層はアンドープの $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 1$) とし、n型層は Ga_xN とする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 それぞれ窒化ガリウム系化合物半導体からなるn型層とp型層との間に、i型窒化ガリウム系化合物半導体からなる受光層を備えたダブルヘテロ構造を有し、前記受光層はアンドープの $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 1$) からなり、

前記n型層はGa₂Nからなることを特徴とするPIN型の窒化ガリウム系化合物半導体受光素子。

【請求項2】 前記n型層はアンドープの第1のGa₂N層と、該第1のGa₂N層と前記受光層との間に形成されたn型不純物がドーパされた第2のGa₂N層とからなる請求項1記載の窒化ガリウム系化合物半導体受光素子。

【請求項3】 それぞれ窒化ガリウム系化合物半導体からなるn型層とp型層との間に、i型窒化ガリウム系化合物半導体からなる受光層を備えたダブルヘテロ構造を有し、

前記受光層はアンドープのGa₂Nからなり、

前記n型層は $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 < y < 1$) からなることを特徴とするPIN型の窒化ガリウム系化合物半導体受光素子。

【請求項4】 それぞれ窒化ガリウム系化合物半導体からなるn型層とp型層との間に、i型窒化ガリウム系化合物半導体からなる受光層を備えたダブルヘテロ構造を有し、

前記受光層はアンドープの $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 1$) からなり、

前記n型層は $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 < y < 1$) からなることを特徴とするPIN型の窒化ガリウム系化合物半導体受光素子。

【請求項5】 前記p型層は少なくともp型 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ ($0 \leq z < 1$) 層を有することを特徴とする請求項1乃至4のいずれかに1つに記載のPIN型の窒化ガリウム系化合物半導体受光素子。

【請求項6】 前記窒化ガリウム系化合物半導体受光素子は、量子効率が60%以上の吸収波長域と該吸収波長域の両側に位置する非吸収波長域を有し、前記吸収波長域が20nm以上に設定された請求項1乃至5のうちのいずれか1つに記載のPIN型の窒化ガリウム系化合物半導体受光素子。

【請求項7】 前記窒化ガリウム系化合物半導体受光素子は、吸収波長域と該吸収波長域の両側に位置する非吸収波長域を有し、前記吸収波長域は前記非吸収波長域の100倍以上の量子効率を有しかつ前記吸収波長域は20nm以上の範囲である請求項1乃至6のうちのいずれかに1つに記載のPIN型の窒化ガリウム系化合物半導体受光素子。

【請求項8】 前記吸収波長域は、360nmから420nmの波長範囲において設定されている請求項1乃至7のうちのいずれか1つに記載のPIN型の窒化ガリウ

ム系化合物半導体受光素子。

【請求項9】 前記受光層の膜厚は、1500オングストローム以上、10000オングストローム以下であることを特徴とする請求項1乃至8のうちのいずれかに記載のPIN型の窒化ガリウム系化合物半導体受光素子。

【請求項10】 前記n型層の膜厚は1μm以上、10μm以下であることを特徴とする請求項1乃至9のうちのいずれか1つに記載のPIN型の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項11】 前記請求項1乃至請求項10のいずれか1つに記載の窒化ガリウム系化合物半導体受光素子が1つの基板上に複数配列されたことを特徴とする受光アレイ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明はフォトダイオード、太陽電池等に使用される半導体受光素子に関し、特に窒化ガリウム系化合物半導体 ($\text{In}_a\text{Al}_b\text{Ga}_{1-a-b}\text{N}$ 、 $0 \leq a \leq 1$ 、 $0 \leq b \leq 1$ 、 $a + b \leq 1$) を用いた受光素子に関する。

【0002】

【従来の技術】光を検出する半導体を用いた受光素子として、赤外光の検知には InGaP 、 InP を用いた素子などが広く実用化されている。また、紫外光を検知する受光素子は Si を用いた受光素子が実用化されているが、まだ望まれた特性を有したものとはいえない。紫外光を検知する受光素子は、火災センサ、ミサイル検知器、天体観測などへの用途が考えられる。 Si を用いた受光素子はPN接合型、PIN接合型とどちらも実用化されているが、 Si が間接遷移型の半導体であるため、受光層をミクロンオーダーで成膜する必要があり、またダブルヘテロ構造ができないので、p層やn層でも光が吸収され、受光層に到達する光の量が少なくなるという問題がある。また、可視光 (例えば400nm以上) でも受光特性を示すため、紫外光 (例えば400nm以下) のみを検知する受光素子として利用するためには可視光が受光しないようなフィルタを介する必要がある、またバンドギャップが小さいために熱によるノイズも問題になる。

【0003】 $\text{In}_a\text{Al}_b\text{Ga}_{1-a-b}\text{N}$ ($0 \leq a \leq 1$ 、 $0 \leq b \leq 1$ 、 $a + b \leq 1$) からなる窒化ガリウム系化合物半導体は6.0eV (AlN) から1.95eV (InN) までの広範囲なバンドギャップエネルギーを有する材料であり、直接遷移型であるため、受光層を薄くでき、またダブルヘテロ構造を用いることで、フィルタを介することなく例えば紫外光のみを検知し、可視光を検知しないなどといった、短波長側の特定の波長領域に限定した受光素子を簡単な構造で実現することができる。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら窒化ガリ

ウム系化合物半導体受光素子は結晶性の良い窒化ガリウム系化合物半導体が得にくく、さらに組成、膜厚等の問題で、受光感度の良いすなわち量子効率の高い素子を得ることが困難であることから、実用化もされていないのが現状である。特に天体観測に使用する受光素子としては現状の問題として雰囲気等の外部条件に影響されない、信頼性の高い紫外光領域での受光素子が必要となっている。そこで本発明者らは鋭意研究を重ねた結果、前記問題を解決した窒化ガリウム系化合物半導体受光素子を作製することで、信頼性の高い受光素子の実現に至った。

【0005】

【課題を解決するための手段】本発明は下記(1)～(11)の構成により、上述した課題を解決することができ、本発明の目的を達成することができる。

【0006】(1)それぞれ窒化ガリウム系化合物半導体からなるn型層とp型層との間に、i型窒化ガリウム系化合物半導体からなる受光層を備えたダブルヘテロ構造を有し、前記受光層はアンドープの $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 1$) からなり、前記n型層は GaN からなることを特徴とするPIN型の窒化ガリウム系化合物半導体受光素子。

【0007】(2)前記n型層はアンドープの第1の GaN 層と、該第1の GaN 層と前記受光層との間に形成されたn型不純物がドーパされた第2の GaN 層とからなる前記(1)に記載の窒化ガリウム系化合物半導体受光素子。

【0008】(3)それぞれ窒化ガリウム系化合物半導体からなるn型層とp型層との間に、i型窒化ガリウム系化合物半導体からなる受光層を備えたダブルヘテロ構造を有し、前記受光層はアンドープの GaN からなり、前記n型層は $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 < y < 1$) からなることを特徴とするPIN型の窒化ガリウム系化合物半導体受光素子。

【0009】(4)それぞれ窒化ガリウム系化合物半導体からなるn型層とp型層との間に、i型窒化ガリウム系化合物半導体からなる受光層を備えたダブルヘテロ構造を有し、前記受光層はアンドープの $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 1$) からなり、前記n型層は $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 < y < 1$) からなることを特徴とするPIN型の窒化ガリウム系化合物半導体受光素子。

【0010】(5)前記p型層は少なくともp型 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ ($0 \leq z < 1$) 層を有することを特徴とする前記(1)乃至(4)のいずれかに1つに記載のPIN型の窒化ガリウム系化合物半導体受光素子。

【0011】(6)前記窒化ガリウム系化合物半導体受光素子は、量子効率が60%以上の吸収波長域と該吸収波長域の両側に位置する非吸収波長域を有し、前記吸収波長域が20nm以上に設定された前記(1)乃至

(5)のうちのいずれか1つに記載のPIN型の窒化ガ

リウム系化合物半導体受光素子。

【0012】(7)前記窒化ガリウム系化合物半導体受光素子は、吸収波長域と該吸収波長域の両側に位置する非吸収波長域を有し、前記吸収波長域は前記非吸収波長域の100倍以上の量子効率を有しかつ前記吸収波長域は20nm以上の範囲である前記(1)乃至(6)のうちのいずれかに1つに記載のPIN型の窒化ガリウム系化合物半導体受光素子。

【0013】(8)前記吸収波長域は、360nmから420nmの波長範囲において設定されている前記

(1)乃至(7)のうちのいずれか1つに記載のPIN型の窒化ガリウム系化合物半導体受光素子。

【0014】(9)前記受光層の膜厚は、1500オングストローム以上、10000オングストローム以下であることを特徴とする前記(1)乃至(8)のうちのいずれかに記載のPIN型の窒化ガリウム系化合物半導体受光素子。

【0015】(10)前記n型層の膜厚は1 μm 以上、10 μm 以下であることを特徴とする前記(1)乃至(9)のうちのいずれか1つに記載のPIN型の窒化ガリウム系化合物半導体受光素子。

【0016】(11)前記(1)乃至請求項(10)のいずれか1つに記載の窒化ガリウム系化合物半導体受光素子が1つの基板上に複数配列されたことを特徴とする受光アレイ。

【0017】つまり、本発明は前記(1)～(10)の構成により、200nm～635nmにおいて所定の幅の光吸収波長領域を有し、高感度でかつ信頼性の高い、優れた窒化ガリウム系化合物半導体受光素子を提供することができる。

【0018】

【発明の実施の形態】以下に図面を参照しながら本発明に係る実施の形態について説明する。

(実施の形態1) 図1は本発明に係る実施の形態1の窒化ガリウム系化合物半導体受光素子の構造を示す模式断面図である。本実施の形態1の受光素子は、n型窒化ガリウム系化合物半導体層(n型層)とp型窒化ガリウム系化合物半導体層(p型層)との間に受光層としてi型窒化ガリウム系化合物半導体が挟まれたダブルヘテロ構造を有する受光素子であって、サファイア基板101上に、 GaN よりなるバッファ層102と、アンドープ GaN からなる第1のn型層103と、Siドーパ GaN からなる第2のn型層104と、i型窒化ガリウム系化合物半導体であるアンドープ InGaN からなる受光層105と、Mgドーパ AlGaN からなる第1のp型層106と、Mgドーパ GaN からなる第2のp型層107とを順に積層した層構成を有している。すなわち、本実施の形態1では、(1)アンドープ GaN からなる第1のn型層103とSiドーパ GaN からなる第2のn型層104とによってn型層を構成し、(2)アンドー

ブInGa_Nによってi型窒化ガリウム系化合物半導体である受光層105を構成し、(3)MgドープAlGa_Nからなる第1のp型層106とMgドープGa_Nからなる第2のp型層107とによってp型層を構成している。

【0019】また、本実施の形態1では、サファイア基板101側から光を入射させるように図示している(図1)が、本発明の受光素子は、入射光を基板側から入射するようにして動作させることもできるし、入射光をp型層側から入射するようにして動作させることもできる。すなわち、本発明の受光素子は入射光が基板側から入射させるときにはフェイスダウンで実装し、p型層側から入射させるときにはフェイスアップで実装する。この実施の形態1に示すように、基板側から光を入射させる場合、すなわち受光素子をフェイスダウンで用いる場合は、受光層とn型層よりもバンドギャップエネルギーの大きい、すなわち基板で吸収されないような基板を用いる必要があり、その場合は本実施の形態1において示すように、サファイア基板(例えばC面、R面、A面を主面とする)を用いることが最も好ましい。しかしながら本発明はこれに限られるものではなく、その他に、スピネル(MgAl₂O₄)のような絶縁性基板、SiC、ZnS、ZnO、GaAs、Ga_N等を基板として用いることができる。また特開平11-191659号、特開平11-214744号の明細書等に記載されているELOG(窒化物半導体の横方向の成長を利用して成長させてなる)等により得られる窒化物半導体基板等を用いることもできる。

【0020】また、本発明の実施の形態1においては、成長させる窒化物半導体層の結晶性を良くするために、基板上にバッファ層を介してアンドープGa_Nからなる第1のn型層103及びSiドープGa_Nからなる第2のn型層104を形成しているが、このバッファ層はそのバッファ層上に接して形成する層と同一組成としかつその上の層より低温で成長させることが好ましく、これによりn型層の結晶性をより良好にすることができる。例えば、本実施の形態1では、MOVPE法を用いて900℃以下の低温でバッファ層を成長させ、900℃より高温で第1のn型層103を成長させ、本実施の形態1では第1のn型層がGa_Nであるためバッファ層はGa_Nとする。

【0021】本発明において、n型層は少なくとも受光層よりバンドギャップエネルギーの大きいn型窒化ガリウム系化合物半導体であればよく、1つの窒化ガリウム系化合物半導体層で構成してもよいし、2以上の窒化ガリウム系化合物半導体層で構成してもよい。また、n型層を2以上の層で構成する場合は、アンドープの層を含んでいてもよく、その場合は全体としてn型となっていればよい。本実施の形態1では、好ましい例として、バッファ層に接するアンドープの第1のn型層103とを

Siドープの第2のn型層とを組み合わせたと例を示している。具体的には、実施の形態1では、バッファ層に接する第1のn型層103としてアンドープのGa_N、その第1のn型層103に接する第2のn型層104としてSiドープのGa_Nを成長させる。このアンドープのGa_Nはその上に成長させる窒化物半導体層の結晶性を良好にする効果があるので、第1のn型層103の上に成長させる第2のn型層104及びその上に成長させる層の結晶性を良好にできる。

【0022】また、本実施の形態1において、第2のn型層はn電極を形成する層であるので、n電極と良好なオーミック接触を得るために、第2のn型層のSiドープ量は $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ の範囲に設定することが好ましく、より好ましくは前記範囲において $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上とする。また、第2のn型層にドープするn型不純物としては、Siの他にGe、Sn、Sb等を用いることもできる。また第1のn型層と第2のn型層とからなるn型層の総膜厚としては2μm以上10μm以下、好ましくは2μm以上6μm以下、最も好ましくは4μm程度とする。n型層の総膜厚を、2μm以上とするのはn型層のバンドギャップエネルギーより大きいエネルギーを有する光をn型層において効果的に吸収するためであり、これにより後述する非吸収領域1における量子効率を低くすることができる

(図2の説明参照)。また、n型層の総膜厚を、10μm以下とするのは10μm以上にすると受光素子にそりが発生しやすくなるからであり、これにより、後述する吸収波長域における量子効率の劣化を抑えることができる。

【0023】本発明において、受光層としてはその両側に形成されるn型窒化ガリウム系化合物半導体及びp型窒化ガリウム系化合物半導体よりバンドギャップエネルギーの小さいi型窒化ガリウム系化合物半導体層を用いることができる。本実施の形態1において、受光層はアンドープのIn_xGa_{1-x}Nから成りInの混晶比Xは $0 < X < 1$ とし、Ga_Nからなるn型層よりもバンドギャップエネルギーの小さい窒化物半導体とする。この受光層はi型窒化ガリウム系化合物半導体と定義しているが、本発明では故意に不純物をドープしていない層をi型窒化ガリウム系化合物半導体としている。受光層の膜厚としては、良好な受光感度を得る(量子効率を高くする)ために、1500オングストローム～10000オングストローム、より好ましくは1500オングストローム～6000オングストローム、更に好ましくは2000オングストローム～3500オングストローム、最も好ましくは2500オングストローム程度とする。

【0024】本発明において、p型層は少なくとも受光層よりバンドギャップエネルギーの大きいp型窒化ガリウム系化合物半導体であればよく、例えば、p型不純物をドープしたAl_{1-z}Ga_zN($0 \leq z < 1$)で表される

窒化ガリウム系化合物半導体層で構成することができる。また、p型層は1つの窒化ガリウム系化合物半導体層で構成してもよいし、2以上の窒化ガリウム系化合物半導体層で構成してもよい。また、p型層を2以上の層で構成する場合は、アンドープの層を含んでいてもよい。本実施の形態1において、p型層は、好ましい1つの形態として、受光層に接する第1のp型層としてMgドープのAlGaInを成長させ、さらに第1のp型層に接してMgドープのGaInを成長させる（第2のp型層）ことにより2層で構成している。このp型層（第1のp型層及び第2のp型層）にドープするMgドープ量は $1 \times 10^{16} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ の範囲に設定することが好ましい。また、p電極を形成する第2のp型層は、前記範囲においてさらに $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上とすることで、p側電極とより良好なオーミック特性を得ることができる。またp型層の総膜厚としては500Å以上1μm以下、さらに好ましくは1000Å以上5000Å以下とする。本実施の形態1においては、さらにp型層において、受光層に接する層としてAl混晶比が第1のp型層より大きいアンドープのAlGaInを100Å以下の膜厚で成長させてもよい。この層はアンドープとして成長させるが、その上のp型層を成長させる際、またp型化アニールをする際に隣接する層からMgが拡散され、結果的にMgを含んだ層となる。この層を成長させるとさらに特性のよい受光素子が得られ、好ましい。

【0025】本発明において、電極としては特に組成が限定されるものではなく、種々の電極材料を用いることができる。しかしながら、良好なオーミック特性を得るために、n側電極109にはTi-Al、p側電極108にはNi-Auの合金を用いることが好ましく、これによりそれぞれ接する層との間で良好なオーミック特性が得られる。本実施の形態1の受光素子では、以下のようにしてn及びp電極を形成している。すなわち、サファイア基板101上に、バッファ層102、第1のn型層103、第2のn型層104、受光層105、第1のp型層106及び第2のp型層107を順に積層した後、エッチングにより第2のn型層104の一部を露出させてn電極109を形成するために領域を確保する。そして、n電極109を露出させた第2のn型層104上に形成し、p電極108を第2のp型層107上に形成する。

【0026】以上のように構成された実施の形態1の受光素子において、上述した窒化ガリウム系化合物半導体を積層することにより、図2に示すようなスペクトルが得られる。すなわち、本実施の形態1の受光素子では、n型層のバンドギャップエネルギーより大きいエネルギーを有する光は、n型層において吸収され受光層では吸収されない。このn型層で吸収される波長領域が図2に

おける非吸収波長域1に相当する。また、受光層105のバンドギャップエネルギーより小さいエネルギーを有する光は、受光層105で吸収されることはない。この受光層105に到達したにもかかわらず受光層105で吸収されない光の波長領域が図2における非吸収波長域2に相当する。これにより、n型層よりバンドギャップエネルギーが小さく受光層105のバンドギャップエネルギーより大きいエネルギーを有する光が受光層105で選択的に吸収される（図2における吸収波長域に相当）。

【0027】これにより、本実施の形態1の構成によれば、所定の範囲の波長を有する光を選択的に吸収する受光素子を提供することができる。本実施の形態1の受光素子においては、例えば、図2に示すように、365nm以上であってかつ400nm以下の波長の光が選択的に吸収される。また、本実施の形態1の受光素子では、n型層及び受光層の膜厚を所定の範囲に設定することにより、20nm以上の波長域において、60パーセント以上の高い量子効率を実現でき、かつ非吸収波長域1、2において量子効率0.6%以下とできる。このように、実施の形態1の受光素子によれば、極めて高い選択性を有する（選択比100（60%/0.6%）倍以上）の受光素子100が得られる。これにより所定の範囲において、雰囲気等の外部条件に影響されることのない、ノイズの少ない信頼性の高い受光素子が得られる。尚、本発明において、量子効率とは外部量子効率、すなわち、1ワットの光が入射したときに受光素子から発生する光電流の出力（ワット）の割合を示しており、言い換えれば光電流に寄与するキャリア数を入射光子数で除したものである。また、本発明において、量子効率の測定は、受光素子の両電極間を直流電流計に接続し、サファイア基板側から基板に垂直に150mWのキセノンランプの白色光をモノクロメーターで単色化して照射することにより受光素子の相対感度を測定することにより算出した。

【0028】また、本発明に係る実施の形態1では、上述したように所定の量子効率以上の光吸収率を有する選択吸収範囲を有しているが、受光層としてInGaInを用いているので、そのInの混晶比を変化させることにより選択吸収範囲の吸収波長の上限を変化させることができる。すなわち、本実施の形態1においては、受光層であるi型窒化ガリウム系化合物半導体層のInの混晶比を、変化させることにより、優れた光吸収を有する吸収波長域の長波長側の上限を任意に設定（但し、635nm以下）することができる。また、実施の形態1では、n型層としてGaInを用いているので、吸収波長域の短波長側の下限は、GaInのバンドギャップエネルギーに対応する光の波長である365nmとなる。以上のことから実施の形態1の受光素子では、365nm～635nmの範囲に吸収波長域を設定することができる。

【0029】また、実施の形態1では、第1のn型層及び第2のn型層をそれぞれGaNにより構成したが、本発明はこれに限られるものではなく、第1のn型層及び第2のn型層をそれぞれAlGaNにより構成してもよい。このように、第1のn型層及び第2のn型層をそれぞれAlGaNにより構成するとGaNで構成したばあいと比較してバンドギャップエネルギーを大きくすることができかつ、そのAlの混晶比を変化させることによりそのバンドギャップエネルギーを変化させることができるので、吸収波長域の短波長側の下限を変化させることができる。

【0030】（実施の形態2）本発明に係る実施の形態2の受光素子は、200nm～365nmの範囲に吸収波長域を設定することができる受光素子であって、サブファイバ基板上にAlGaNよりなるバッファ層とSiドープAlGaNからなるn型層と、アンドープGaNからなる受光層と、MgドープAlGaNからなるp型層とを順に積層した層構造を有する。

【0031】本発明の実施の形態2において、n型層はSiドープのAlGaNからなる1つの層で構成され、このn型層にn電極が直接形成される。従って、n型層には、良好なオーミック接触を得るために $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ の範囲でn型不純物がドーパされるのが好ましく、より好ましくは前記範囲において $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上とする。また、n型不純物としては、本実施の形態2では例えばSiを用いることができるが、その他にGe、Sn、Sb等を用いてもよい。さらに、実施の形態2のn型層の膜厚は、1 μm 以上3 μm 以下、好ましくは2 μm 程度とする。このn型層の膜厚を1 μm 以上とするのはn型層のバンドギャップエネルギーより大きいエネルギーを有する光をn型層において効果的に吸収するためであり、これにより後述する非吸収領域1における量子効率を低くすることができる（図2の説明参照）。また、n型層の総膜厚を、3 μm 以下とするのは、n型層の結晶性の劣化を抑えるためであり、これにより、後述する吸収波長域における量子効率の劣化を抑えることができる。尚、実施の形態1と実施の形態2とで、n型層の好ましい膜厚の範囲が異なるのは、実施の形態2でn型層として用いたAlGaN層は、実施の形態1のGaN層に比べて結晶性がよくないためである。

【0032】本実施の形態2において、受光層であるi型窒化ガリウム系化合物半導体は、AlGaNからなるn型層よりバンドギャップエネルギーの小さいGaNをアンドープで成長させることにより形成する。このアンドープGaNからなる受光層の膜厚は、受光感度を高くするために、好ましくは1500オングストローム～10000オングストローム、より好ましくは1500オングストローム～6000オングストローム、更に好ましくは2000オングストローム～3500オングスト

ローム、最も好ましくは2500オングストローム程度とする。

【0033】本発明の実施の形態2において、p型層はp型不純物をドーパした $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ ($0 \leq z < 1$) からなり、好ましくは受光層に接して形成し、好ましくはp型不純物としてMgドーパしながら成長させる。p型層にドーパするMgドーパ量は、p側電極と良好なオーミック特性を得ることができるように好ましくは $1 \times 10^{16} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ の範囲とし、さらに好ましくは $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上とする。またp型層の総膜厚としては50オングストローム以上1 μm 以下、さらに好ましくは100オングストローム以上500オングストローム以下とする。また本発明では、受光層に接する層としてアンドープのAlGaNを100オングストローム以下の膜厚で成長させてその上に上述のp型層を形成するようにしてもよい。このアンドープのAlGaN層は成長時はアンドープであるが、その上のp型層を成長させる際、またp型化アニールをする際に隣接するMgがドーパされた層からMgが拡散されるので結果的にMgを含んだ層となる。このアンドープのAlGaN層を成長させることによりさらに特性のよい受光素子が得られ、好ましい。

【0034】本発明の実施の形態2において、基板、バッファ層および電極は実施の形態1と同様に構成される。

【0035】以上のように構成された実施の形態2の受光素子は、200nm～365nmの範囲において吸収波長域を設定することができ、その吸収波長域において実施の形態1と同様、高い受光感度が得られる。本実施の形態2の受光素子においても、実施の形態1と同様、20nm以上の波長の範囲において量子効率が60パーセント以上の高い選択受光特性が得られる。また、実施の形態2の受光素子においても、選択波長領域の量子効率を比選択波長領域の量子効率の100倍以上とできる。これは実施の形態2の受光素子により、雰囲気等の外部条件の影響されず、ノイズの少ない信頼性の高い受光素子であることを意味する。

【0036】以上、実施の形態2について説明したが、本発明はこれに限られるものではない。本発明では、例えば、受光層をアンドープの $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 1$) 単一の層とし、n型層を $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 < y < 1$) として構成してもよい。このようにすることにより、200nm～635nmにおいて、所定の範囲で選択的に優れた光吸収を有する受光素子を提供することができる。

【0037】以上、実施の形態1、2では、n型層としてGaN又はAlGaNを用いて構成した例を示したが、本発明はこれに限られるものではなく、例えば、受光層としてInGaNを用い、n型層として受光層よりInの含有量の少ないInGaNを用いて構成してもよ

い。このように構成すると、吸収波長域の短波長側の下限を365nm以上に設定することができる。

【0038】従って、本発明において、n型層及び受光層であるi型窒化ガリウム系化合物半導体層を、少なくとも受光層のバンドギャップエネルギーがn型層及びp型層のバンドギャップエネルギーより小さくなるように種々の窒化ガリウム系化合物半導体の中から選択することにより、200nm〜635nmにおいて、優れた光吸収を有する連続した吸収波長域の中心波長及び波長域幅を任意に設定することができる。

【0039】さらに、本発明に係る窒化ガリウム系化合物半導体受光素子を、図3及び図4に示すように複数個配列させることにより受光アレイ300を構成することができる。このように構成された受光アレイは、2次元受光素子（イメージセンサ）として種々の応用機器に用いることができる。

【0040】また本発明において、窒化ガリウム系化合物半導体受光素子を作成後、サファイアなどの基板の電極の電極形成面とは反対の面に反射防止膜としてSiO₂膜などを形成することでより量子効率の良い窒化ガリウム系化合物半導体受光素子を得ることができる。

【0041】

【実施例】【実施例1】サファイア基板上にMOVPE法により約500〜600℃でGaNよりなるバッファ層を200オングストロームの膜厚で成長させ、次にバッファ層の上に、1000℃でアンドープのn型GaN層を1.5μmの膜厚で成長させ、さらにアンドープのGaN層の上に、同様の温度でSiドープのn型GaN層を2.5μmの膜厚で成長させる。次にSiドープのn型GaN層の上に、800℃でアンドープでi型In_{0.2}Ga_{0.8}N層を2500オングストロームの膜厚で成長させる。次にi型In_{0.2}Ga_{0.8}N層の上に、1000℃でMgドープのp型AlGaN層を200オングストロームの膜厚で成長させ、さらにp型AlGaN層の上に、同様の温度でMgドープのp型GaN層を1500オングストロームの膜厚で成長させる。成長後、窒化ガリウム系化合物半導体を積層した基板を700℃でアニーリング（p型化アニール）後、p型GaN層の表面の一部をSiドープのn型GaN層までエッチングしてn型GaN層を露出させ、p型GaN層の上にNi-Auの合金よりなるp側電極を、n型GaN層の上にTi-AIの合金よりなるn側電極を形成し、これを1mm角の素子としてチップ化する。

【0042】以上のようにして得られた受光素子の両電極間を直流電流計に接続し、サファイア基板側から基板に垂直にキセノンランプの白色光をモノクロメーターで単色化して照射することにより実施の形態1と同様にして、受光素子の相対感度を測定した。図2は照射波長と相対分光感度の関係を示すグラフであり、この受光素子は360nm〜420nmで受光ピークを示し、特に3

70nm〜390nmの波長範囲では強い受光ピークを示し、その量子効率は60パーセント以上であった。さらにこの受光素子は360nm〜420nmで受光ピーク以外の波長での感度はほとんどなく、60パーセント以上の量子効率を示した370nm〜390nmでの量子効率の1/100以下であり、ノイズをほとんど検出しない、高感度で信頼性の高い窒化ガリウム系化合物半導体受光素子を得ることが出来た。

【0043】【実施例2】サファイア基板上にMOVPE法により約500〜600℃でAlGaNよりなるバッファ層を200オングストロームの膜厚で成長させ、次にバッファ層の上に、1000℃でSiドープのn型AlGaN層を2μmの膜厚で成長させる。次にSiドープのn型AlGaN層の上に、同様の温度で、アンドープのi型GaN層を2500オングストロームの膜厚で成長させる。次にアンドープi型GaN層の上に、1000℃でMgドープのp型AlGaN層を1500オングストロームの膜厚で成長させる。成長後、窒化ガリウム系化合物半導体を積層した基板を700℃でアニーリング（p型化アニール）後、p型AlGaN層の表面の一部をSiドープのn型AlGaN層までエッチングしてn型GaN層を露出させ、p型AlGaN層の上にNi-Auの合金よりなるp側電極を、n型GaN層の上にTi-AIの合金よりなるn側電極を形成し、これを1mm角の素子としてチップ化する。

【0044】この受光素子は310nm〜360nmで受光ピークを示し、特に320nm〜340nmの波長範囲では強い受光ピークを示し、その量子効率は60パーセント以上であった。さらにこの受光素子は310nm〜360nmで受光ピーク以外の波長での感度はほとんどなく、60パーセント以上の量子効率を示した320nm〜340nmでの量子効率の1/100以下であり、ノイズをほとんど検出しない、高感度で信頼性の高い窒化ガリウム系化合物半導体受光素子を得ることができた。

【0045】【実施例3】サファイア基板上に公知の方法によって、GaNを3μmの膜厚でエピタキシャル成長させる。次にエピタキシャル成長したGaN層の上にSiドープのn型GaN層を2μmの膜厚で成長させる。次にn型GaN層の上にアンドープのi型InGaN層を2500オングストロームの膜厚で成長させる。次にi型InGaN層の上に、Mgドープのp型AlGaN層を200オングストロームとMgドープのp型GaN層を1500オングストロームの膜厚で成長させる。

【0046】成長後、窒化ガリウム系化合物半導体を積層した基板を700℃でアニーリング（p型化アニール）後、p型GaN層の表面の一部をSiドープのn型GaN層までエッチングしてn型GaN層を露出させ、p型GaN層の上にNi-Auの合金よりなるp側電極

を、n型Ga_{0.9}N層の上にTi-Alの合金よりなるn側電極を形成し、これを1mm角の素子としてチップ化したところ、実施例1と同様の特性を有する受光素子を得ることができた。

【0047】【実施例4】サファイア基板上にMOVPE法により約500～600℃でAlGa_{0.3}Nよりなるバッファ層を200オングストロームの膜厚で成長させ、次にバッファ層の上に、1000℃でSiドープのn型AlGa_{0.3}N層を2μmの膜厚で成長させる。次にSiドープのn型AlGa_{0.3}N層の上に、同様の温度で、アンドープのi型InGa_{0.5}N層を2500オングストロームの膜厚で成長させる。次にアンドープi型InGa_{0.5}N層の上に、1000℃でMgドープのp型AlGa_{0.3}N層を200オングストロームの膜厚で成長させ、さらにp型AlGa_{0.3}N層の上に、同様の温度でMgドープのp型Ga_{0.9}N層を1500オングストロームの膜厚で成長させる。成長後、窒化ガリウム系化合物半導体を積層した基板を700℃でアニーリング(p型化アニール)後、p型AlGa_{0.3}N層の表面の一部をSiドープのn型AlGa_{0.3}N層までエッチングしてn型Ga_{0.9}N層を露出させ、p型AlGa_{0.3}N層の上にNi-Auの合金よりなるp側電極を、n型Ga_{0.9}N層の上にTi-Alの合金よりなるn側電極を形成し、これを1mm角の素子としてチップ化する。

【0048】この受光素子は310nm～420nmで受光ピークを示し、特に320nm～390nmの波長範囲では強い受光ピークを示し、その量子効率60パーセント以上であった。さらにこの受光素子は310nm～420nmで受光ピーク以外の波長での感度はほとんどなく、60パーセント以上の量子効率を示した320nm～390nmでの量子効率の1/100以下であり、ノイズをほとんど検出しない、高感度で信頼性の高い窒化ガリウム系化合物半導体受光素子を得ることができた。

【0049】【実施例5】サファイア基板上にp型層まで窒化ガリウム系化合物半導体を積層し、p型化アニールをするまでは実施例1と同様にして作製し、次に図3のようにp型Ga_{0.9}N層の表面の一部をSiドープのn型

Ga_{0.9}N層までドット状にエッチングしてn型Ga_{0.9}N層を露出させ、p型Ga_{0.9}N層の上にNi-Auの合金よりなるp側電極を形成し、Ti-Auの合金よりなるn側電極を、残ったp型Ga_{0.9}N層を100×100個を囲むように周囲に形成し、さらにn側電極の外周部で基板を切断し、8mm角の窒化ガリウム系化合物半導体からなる受光アレイを作製したところ、実施例1と同様の特性を有するフェイスダウンの受光アレイができ、種々の測定機器に設置することができた。

【0050】

【発明の効果】以上のような素子構造の窒化ガリウム系化合物半導体受光素子を作製することで、紫外光等の短波長側の特定の波長領域に限定した、高感度の信頼性の高い受光素子、また受光アレイを実現することができた。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例の受光素子の構造を示す模式断面図。

【図2】本発明の一実施例の受光素子に照射する波長と量子効率との関係を示す図。

【図3】本発明の一実施例の受光素子が配列された受光アレイの構造を示す模式断面図。

【図4】本発明の一実施例の受光素子が配列された受光アレイを電極側から見た図。

【符号の説明】

100…窒化ガリウム系化合物半導体受光素子、

101、301…基板、

102…バッファ層、

103…第1のn型層、

104、305…第2のn型層、

105…受光層、

106…第1のp型層、

107、306…第2のp型層、

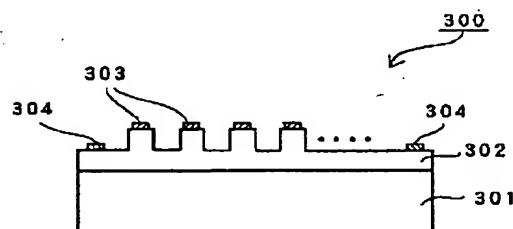
108、303…p側電極、

109、304…n側電極、

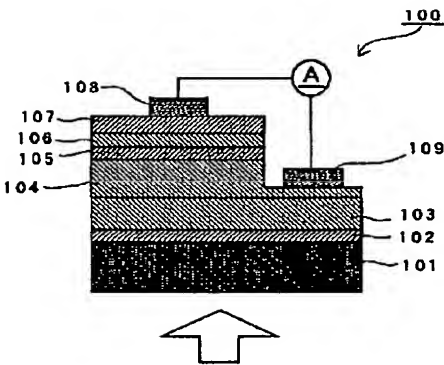
300…窒化ガリウム系化合物半導体からなる受光アレイ、

302…窒化ガリウム系化合物半導体。

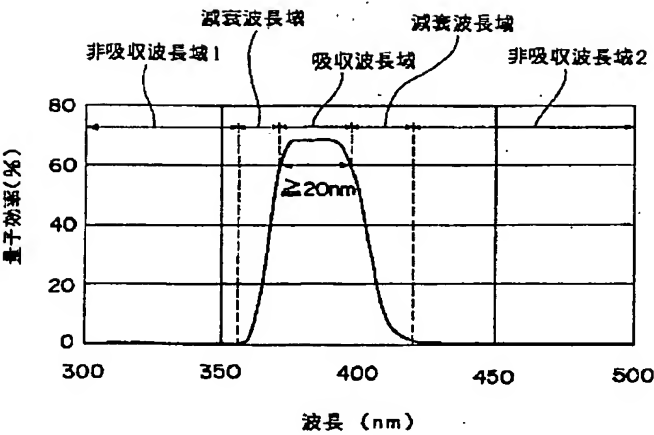
【図3】



【図1】



【図2】



【図4】

